

Guillaume Perrin

RAFRAÎCHISSEMENT URBAIN ET CONFORT D'ÉTÉ

Lutter contre les canicules

DUNOD

Cet ouvrage a été réalisé avec le soutien
de la FNCCR-Territoire d'énergie

Direction artistique : Élisabeth Hébert

Conception graphique de la couverture : Pierre-André Gualino

Illustrations de couverture : pomphotohailand/stock.adobe.com

Mise en pages : Nord Compo

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 2020

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-080799-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^o et 3^o a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Remerciements

« En période de canicule, ce sont les arbres qui sont les plus à plaindre.
Ils ne peuvent pas se mettre à l'ombre. »

Denis Langlois

Un remerciement particulier à l'APUR pour avoir mené de si riches réflexions sur cette thématique, à mes anciens collègues de l'ADEME pour m'avoir, à l'époque, ouvert cette thématique, à mes collègues de la FNCCR de porter ces dynamiques vertueuses et, enfin, à mon directeur général Pascal Sokoloff, pour la confiance qu'il m'accorde dans l'exploration de vastes champs d'action.

Table des matières

Remerciements	III
---------------	-----

Partie 1

Agir maintenant pour préparer demain

Chapitre 1 ■ Pourquoi s'intéresser à un tel sujet ?	3
1.1 Dérèglement climatique et canicules : quel climat pour demain ?	3
1.2 Dérèglement climatique et canicules : quels impacts sur la vie en ville ?	6
1.3 Dérèglement climatique et canicules : des îlots de chaleur partout ?	8
1.4 Dérèglement climatique et canicules : quels impacts sur nos réseaux énergétiques ?	9
Chapitre 2 ■ Quelle démarche d'action adopter ?	13
2.1 Atténuation ou adaptation ?	13
2.2 Une démarche multi-scalaire et par étapes	15

Partie 2

Agir par les modes doux et l'aménagement

Chapitre 3 ■ Le changement, ça commence par soi	21
3.1 La perception de la fraîcheur par le corps	21
3.2 Habillement, horaires... premiers leviers de sobriété	24
3.3 L'alimentation, essentielle pour assurer le bon confort	26
3.4 L'organisation de l'espace intérieur	28
Chapitre 4 ■ Diagnostiquer l'espace urbain	31
4.1 Les outils de mesure	31
4.2 La modélisation de l'espace	36
4.3 Le découpage de l'espace	38
4.4 Le croisement des données	39

Chapitre 5 ■ Aménager la ville d'été	41
5.1 Morphologie urbaine	41
5.2 Intégration dans une démarche de planification	45
5.3 Parcours fraîcheur	50
5.4 Brise thermique et reliefs de la ville	52
Chapitre 6 ■ La place de l'eau en ville, les trames bleues	57
6.1 Redonner sa place à l'eau en ville pour le rafraîchissement urbain	57
6.2 Imperméabilisation des sols vs libre circulation	60
6.3 Rafraîchir la ville par l'eau	64
6.4 Arroser la chaussée, une solution durable ?	65
Chapitre 7 ■ La place de l'arbre en ville, les trames vertes	67
7.1 Le multiple rôle de l'arbre en ville	67
7.2 Le rôle d'ombrage	70
7.3 La bulle de fraîcheur créée par l'évapotranspiration	73
7.4 Les trames vertes ou la nature en ville	76
Chapitre 8 ■ Albédo et couleurs des bâtiments	79
8.1 Albédo des matériaux	79
8.2 Murs végétaux	80
8.3 Les toits	81
8.4 Dans les rues aussi !	83
Chapitre 9 ■ Architecture bioclimatique	87
9.1 Orientation du bâtiment et topographie	87
9.2 Surfaces vitrées et protections solaires	88
9.3 Brasseurs d'air et circulation d'air	93
9.4 Choix des matériaux	94
9.5 Réglementation thermique : quelle place pour le confort d'été ?	98
Chapitre 10 ■ Mobilité douce et durable	101
10.1 L'impact des mobilités carbonées dans le climat estival urbain	101
10.2 Porter une politique de réduction du parc automobile	105
10.3 Mobilité douce et intermodalité	107
10.4 Mobilité électrique, (bio)GNV et hydrogène	109

Partie 3

Modes actifs de production du froid

Chapitre 11 ■ Produire du froid	113
11.1 Produire du froid ou enlever de la chaleur ?	113
11.2 La climatisation individuelle	115
11.3 Règles d'implantation	119
Chapitre 12 ■ Quantifier les besoins en froid d'un bâtiment	121
12.1 Recueil des besoins du bâtiment	121
12.2 Calculs et simulations	122
Chapitre 13 ■ Machines de production de froid	125
13.1 Machines à compression	125
13.2 Machines à absorption	126
13.3 PAC et thermo-frigopompes (TMF)	129
13.4 Les SWAC	133
Chapitre 14 ■ Stocker le froid	135
14.1 L'intérêt du stockage	135
14.2 Stockage par eau	136
14.3 Stockage par glace	136
14.4 Stockage par glace ou par eau ?	137
Chapitre 15 ■ Les réseaux de froid	139
15.1 Qu'est-ce qu'un réseau de froid ?	139
15.2 Avantages et inconvénients	141
15.3 Situation en France et en Europe, perspectives de développement	147
Chapitre 16 ■ Le froid renouvelable ?	151
16.1 Contexte réglementaire et législatif	151
16.2 Méthodes de calcul du froid renouvelable	153
16.3 Notion de froid nécessaire et froid de confort	155
Bibliographie	158
Annexes	159
Index	166

Partie 1

Agir maintenant pour préparer demain

Chapitre 1 ■ Pourquoi s'intéresser à un tel sujet ?.....	3
Chapitre 2 ■ Quelle démarche d'action adopter ?.....	13

Chapitre 1

Pourquoi s'intéresser à un tel sujet ?

Le réchauffement climatique, entraînant une multiplication des canicules, couplé à l'augmentation de la population urbaine rendent la problématique du confort d'été dans les villes fondamentale, en l'articulant nécessairement vers une approche multi-scalaire. La réponse au suréquipement des ménages en climatisation individuelle, qui pose des problèmes notamment en termes de charge du réseau électrique, passe nécessairement par une réorganisation plus large de l'espace urbain.

1.1 Dérèglement climatique et canicules : quel climat pour demain ?

« Canicule : à Paris aussi, on meurt du réchauffement climatique. »

« Canicule : surmortalité de 15 % chez les personnes fragiles cette année. »

« Canicule : le ministère de la Santé rappelle les précautions. »

« Canicule : 43 départements désormais placés en vigilance orange. »

Les années se suivent et les constats se ressemblent : le dérèglement climatique est fortement en marche, et il produit des effets se faisant ressentir sur tous les territoires, du rural à l'urbain. Si l'on met en avant des effets concernant la perte énorme de la biodiversité et des espèces, les nombreux phénomènes climatiques extrêmes (inondations, ouragans...), la montée des océans avec la disparition d'îles, l'érosion des côtes, l'augmentation des refuges climatiques (zones inhabitables, mauvaises récoltes...) et des épidémies, avec des effets semblant se produire dans des pays lointains, notre pays est également directement impacté, avec des effets sensibles dès aujourd'hui et non uniquement à l'échelle de plusieurs générations.

Ainsi, si les habitants côtiers se préparent aux conséquences de ce dérèglement climatique, tout comme les habitants des montagnes, dont l'organisation

de l'économie dépend fortement du climat, l'ensemble des territoires est touché par de nombreux impacts de différentes natures comme le montrent les analyses de l'ONERC (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique) : baisse de l'enneigement, feux de forêt, crues, inondations, submersions, cyclones...

Tableau 1.1 – Risques du changement climatique en France : impacts déjà visibles et à venir d'ici 2050

Source : Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique – ONERC

Montagne	– 40 cm d'enneigement en 30 ans au col de Porte (Chartreuse, station de ski de basse altitude). Source : Météo-France – Onerc.
Température	+ 1,5 °C en moyenne en France métropolitaine depuis 1900. Source : Météo-France – indicateur Onerc.
Feux de forêt	50 % des forêts métropolitaines soumises à risque incendie élevé dès 2050. Source : Mission interministérielle Changement climatique et extension des zones sensibles aux feux de forêts.
Moustique tigre	Espèce déjà installée dans 45 départements métropolitains
Sécheresse	Manque de 2 Mds de m ³ d'eau en 2050 si la demande reste stable
Culture	Après plus de 35 ans de croissance, stagnation des rendements.

Mais s'il est un risque uniformément partagé par tous les territoires, du nord au sud, des côtes aux montagnes, c'est celui concernant les canicules. Les titres alarmistes (et réels) de la presse figurant en tête de ce chapitre et les expériences de chacun sont là pour le rappeler : tous les territoires, tous les citoyens sont concernés par les canicules et leurs impacts.

Les prévisions météorologiques du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et leur application à la France *via* les travaux de l'ONERC et de Météo France dévoilent, sans trop de surprise, que les vagues caniculaires seront non seulement plus fréquentes, plus longues mais également plus fortes, et qu'elles se feront ressentir sur l'ensemble du territoire.

Ainsi, Météo France précise que sur les 40 vagues de chaleur détectées depuis 1947, il y a eu plus de trois fois plus de vagues de chaleur ces 30 dernières années que durant les 42 années précédentes. Depuis 2010, on dénombre 16 vagues de chaleur et seule l'année 2014 n'en a pas subi...

Lors de la COP 21 à Paris en 2015, le ministère de l'Écologie a réalisé une vidéo factice d'un possible bulletin météo, présentant une journée classique en France le 18 août 2050, avec des températures particulièrement inquiétantes si le réchauffement à 2 °C était confirmé... En août 2019, pendant l'une des deux grandes vagues caniculaires, ces températures ont été effectivement mesurées, donnant un avant-goût possible des prochains étés.

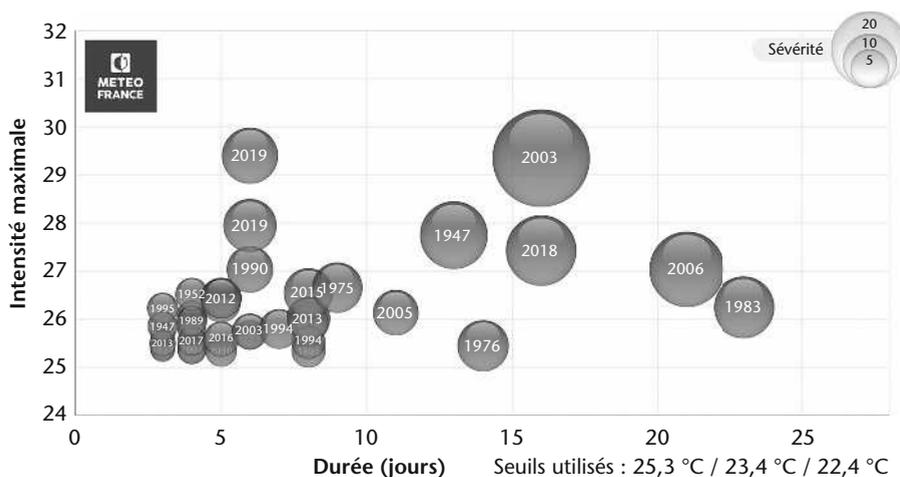


Figure 1.1 – Augmentation des durées et intensités des canicules : vagues de chaleur observées en France (1947 à juin 2019 soit 41 épisodes observés)
 Source : Météo France

D’ici à 2050, selon une étude de l’université de Zürich consacrée à 520 grandes villes du monde et publiée dans la revue scientifique *PLOS ONE*, les villes des régions tempérées connaîtront un changement de climat équivalent à leur déplacement à 1 000 kilomètres au sud. Les étés et les hivers se réchaufferont, respectivement de + 3,5 °C à + 4,7 °C.

Paroles d’expert : Raphaëlle Kounkou-Arnaud, Météo France

« Les projections climatiques pour la France métropolitaine au *xxi*^e siècle tendent vers une poursuite du réchauffement, quel que soit le scénario socio-économique envisagé. Selon le scénario sans politique climatique, le réchauffement pourrait atteindre 4 °C à l’horizon 2071-2100 par rapport à la période 1976-2005. Ainsi, le nombre de jours de gel devrait diminuer tandis que le nombre de journées chaudes devrait augmenter, et ce, quel que soit le scénario. Au cours du *xxi*^e siècle, les vagues de chaleur seront de plus en plus fréquentes, longues et intenses en France. Les projections montrent peu d’évolution des précipitations annuelles, mais avec des contrastes saisonniers et régionaux. L’assèchement des sols sera par ailleurs de plus en plus marqué en toute saison.

En ville, le changement climatique se traduit par une dégradation des conditions de confort thermique en raison d’une tendance à la hausse des températures particulièrement accrue lors des périodes de vagues de chaleur. Cette élévation de la température est aggravée en milieu urbanisé par l’existence d’îlots de chaleur urbains ICU). L’îlot de chaleur urbain est un phénomène physique climatique qui se développe à l’échelle locale et se manifeste par des températures plus élevées dans les espaces urbains centraux que dans les secteurs plus ruralisés avoisinants. Cette perspective d’un nouveau contexte climatique incite à l’adaptation et à la mise en œuvre de solutions de thermorégulation pouvant influencer l’intensité des ICU. »

Enfin, il arrive également qu'un îlot de chaleur, formé dans un espace minéralisé, soit porté, selon les différents vents, sur un espace ne l'ayant pas généré, comme un village à proximité d'une grande ville. Du rural à l'urbain, tous les territoires sont donc concernés.

1.2 Dérèglement climatique et canicules : quels impacts sur la vie en ville ?

L'évolution de la population urbaine est en croissance continue : l'ONU estime ainsi que pratiquement sept personnes sur 10 (68 %) vivront en milieu urbain d'ici 2050, contre à peine plus d'une sur deux (55 %) actuellement. Si cette augmentation de population implique de nombreuses questions (en termes de logements, de transports, d'alimentation et de systèmes énergétiques), elle est aussi génératrice de défis concernant l'organisation de l'espace, touchant à la dynamique de l'artificialisation des sols ainsi que de l'optimisation de l'utilisation de l'espace.

La question de la densification, réponse rapide face au constat du coût élevé du foncier, n'est pas sans générer de nombreux problèmes, en termes de confort d'été, et devient, lorsqu'elle est mal anticipée, source d'inconfort voire de décès, en particulier lorsque s'ajoute le phénomène d'îlot de chaleur urbain.

La Société internationale de biométéorologie a ainsi créé un indice reflétant le confort thermique ressenti par un individu, l'indice universel du climat thermique (en anglais *Universal Thermal Climate Index*, UTCI). Cet indice permet de donner une indication sur le stress thermique ressenti par un humain, en combinant différents paramètres (température, humidité, vitesse du vent...).

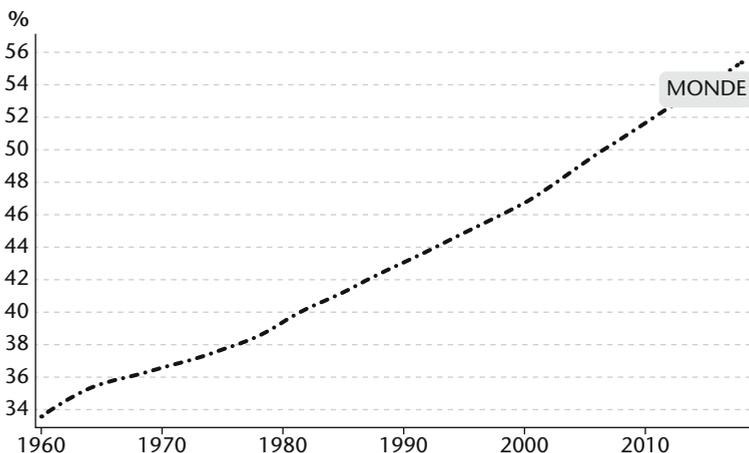


Figure 1.2 – L'augmentation importante et continue de la population dans les aires urbaines
Source : Banque mondiale